

(19)



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11) Publication number: **06291398 A**(43) Date of publication of application: **18.10.94**

(51) Int. Cl.

H01S 3/10
H01S 3/108
(21) Application number: **05078095**(22) Date of filing: **05.04.93**(71) Applicant: **NIPPON TELEGR & TELEPH
CORP <NTT>**
(72) Inventor: **MORIOKA TOSHIO**
MORI KUNIHICO
SARUWATARI MASATOSHI
**(54) MULTIWAVELENGTH ULTRASHORT PULSE
LIGHT SOURCE**

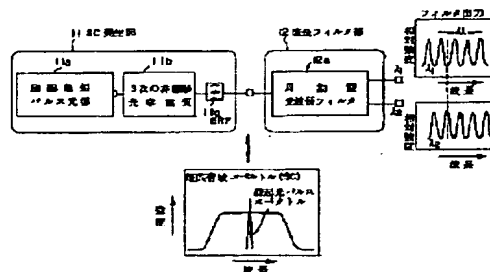
obtained.

COPYRIGHT: (C)1994,JPO

(57) Abstract:

PURPOSE: To provide a multiwavelength ultrashort pulse light source wherein ultrashort pulses having a plurality of wavelengths are generated in the super wide band wavelength range.

CONSTITUTION: Super wide band spectrum pulses (Supercontinuum: SC) are generated on both sides of pumping light wavelength by making ultrashort light pulses for pumping generated from a pumping ultrashort light pulse source 11a enter tertiary nonlinear optical medium 11b, in an SC generating part 11. Ultrashort pulses having a plurality of wavelengths simultaneously separated and outputted from the super wide band spectrum pulses by using a periodic type light wavelength filter 12a. Hence the ultrashort pulses of multiwavelength are stably generated at the same time in the super wide wavelength region, by using a single pulse light source for pumping. Thereby oscillation wavelength of the light pulses is freely selected, and ultrashort pulses of one picosecond or shorter can be



(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-291398

(43)公開日 平成6年(1994)10月18日

(51)Int.Cl.³

H 0 1 S 3/10
3/108

識別記号

Z 8934-4M
8934-4M

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数1 O L (全 8 頁)

(21)出願番号 特願平5-78095

(22)出願日 平成5年(1993)4月5日

(71)出願人 000004226

日本電信電話株式会社
東京都千代田区内幸町一丁目1番6号

(72)発明者 盛岡 敏夫

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 森 邦彦

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(72)発明者 猿渡 正俊

東京都千代田区内幸町1丁目1番6号 日
本電信電話株式会社内

(74)代理人 弁理士 吉田 精孝

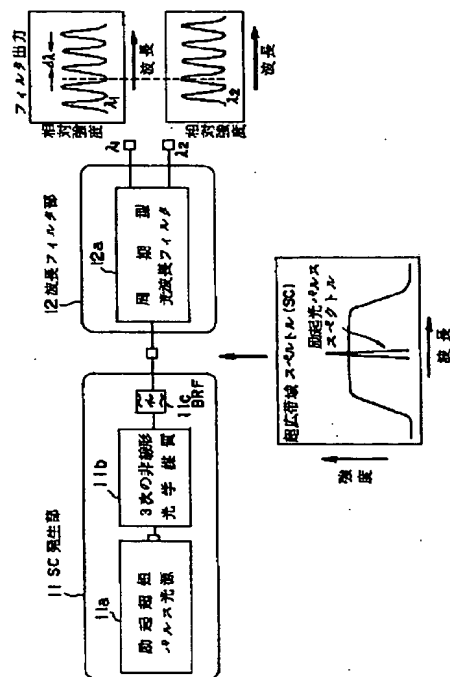
(54)【発明の名称】 多波長超短パルス光源

(57)【要約】

【目的】 複数の波長の超短パルスを超広帯域の波長範囲で発生させる多波長超短パルス光源を提供すること。

【構成】 SC発生部11において、励起超短パルス光源11aから発生された励起用超短光パルスを3次の非線形光学媒質11bに入射することにより、超広帯域スペクトルパルス(Supercontinuum:SC)を励起光波長の両側に発生させ、この超広帯域スペクトルパルスから周期型光波長フィルタ12aによって複数の波長の超短パルスを同時に分離して出力する。

【効果】 単一の励起用パルス光源を用いて安定に超広帯域の波長範囲で多波長の超短パルスを同時に発生させることができる。これにより、自由に光パルスの発振波長を選択し、且つピコ秒以下の超短パルスを得ることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 励起用超短パルス光源と、

該励起用超短パルス光源から励起用超短光パルスを入力し、励起用超短光パルス波長の両側に超広帯域短パルスを発生させる3次の非線形光学効果を有する非線形光導波路媒質と、

該非線形光導波路媒質から発生した超広帯域短パルスから複数の波長の超短パルスを同時に分離する周期的な波長透過特性を有する周期型波長フィルタとを備えた、ことを特徴とする多波長超短パルス光源。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、2つ以上の波長において同時に超短パルスを発生させる多波長超短パルス光源に関するものである。

【0002】

【従来の技術】将来の光通信システムにおいて、通信容量を飛躍的に増大させる方法として波長多重(WDM)システムが有望視されている。これは、複数の異なる光キャリア周波数(波長)に信号を重畳して伝送するもので、キャリア周波数の数だけ総伝送容量は増大する。

【0003】一方、波長多重伝送システムにおいては、複数の異なる波長の光源が必要となり、現在まで20個程度の異なる波長で連続発振するDFBレーザを集積化したレーザアレイ(C. E. ZAH他, "1.5 μ m compressive-strained multiquantum-well 20-wavelength distributed-feedback laser arrays", Electron. Lett., 1992, 28, pp. 824-825)や4波長程度で同時発振するモード同期ファイバリングパルスレーザ(高良、川西、猿渡、Schlager, "Multiwavelength birefringent-cavity mode-locked fibre laser", Electron. Lett., 1992, 28, p. 2247-2275)などが報告されている。

【0004】図2に多波長で発振するモード同期ファイバリング型のパルスレーザの一例を示す。図において、1は変調器、2は複屈折媒質、3は偏光子、4はEDFA等の利得媒質である。変調器1から出力された光パルスは複屈折媒質2を介して偏光子3に入力され、偏光子3から出力された光パルスは利得媒質4を介して変調器1に入力される。また、変調器1から出力光パルスが取り出される。

【0005】この場合、複屈折媒質2波複屈折領域5となると共に複屈折媒質以外の領域は単一偏波領域6となり、発振する波長の数は、図中の複屈折領域の数をNとして2N個となり、波長間隔は複屈折性媒質2の偏波分散により決定される。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前述したモード同期ファイバリング型のパルスレーザにおいては、利得媒質4として用いられるEDFA等の帯域により発振波長は制限され、自由に光パルスの発振波長を選

択し、且つピコ秒以下の超短パルスを得るのは困難であるという問題点があった。

【0007】本発明の目的は上記の問題点に鑑み、複数の波長の超短パルスを超広帯域の波長範囲で発生させる多波長超短パルス光源を提供することにある。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は上記目的を達成するために、励起用超短パルス光源と、該励起用超短パルス光源から励起用超短光パルスを入力し、励起用超短光パルス波長の両側に超広帯域短パルスを発生させる3次の非線形光学効果を有する非線形光導波路媒質と、該非線形光導波路媒質から発生した超広帯域短パルスから複数の波長の超短パルスを同時に分離する周期的な波長透過特性を有する周期型波長フィルタとを備えた多波長超短パルス光源を提案する。

【0009】

【作用】本発明によれば、励起用超短パルスを3次の非線形光学媒質に入射することにより励起光波長の両側に超広帯域超短パルスが発生され、さらに周期型波長フィルタによって前記超広帯域超短パルスから複数の波長の超短パルスが同時に分離される。これにより、単一の励起用パルス光源を用いて安定に超広帯域の波長範囲で多波長の超短パルスを同時に発生させることができる。

【0010】

【実施例】本発明では、非線形光学媒質中で発生する超広帯域の光パルス発生技術(森、盛岡、猿渡, "波長広帯域短パルス光発生装置", 特願平4-245126号)と周期型の光周波数フィルタを組み合わせることに、により、複数の波長の超短パルスを超広帯域の波長範囲で発生させる多波長の超短パルス光源を実現している。

【0011】以下、図面に基づいて本発明の一実施例を説明する。図1は本発明の第1の実施例を示す構成図である。図において、11は超広帯域スペクトルパルス(Supercontinuum, SC)(以下、SCと称する)発生部で、励起超短パルス光源11a、3次の非線形光学媒質11b及びバンド除去(減衰)フィルタ(以下、BRFと称する)11cから構成されている。12は波長フィルタ部で、周期型光波長フィルタ12aから構成されている。

【0012】SC発生部11において、励起超短パルス光源11aから発生された励起用超短光パルスを3次の非線形光学媒質11bに入射することにより、超広帯域スペクトルパルスを励起光波長の両側に発生させ、この超広帯域スペクトルパルスから周期型光波長フィルタ12aによって複数の波長の超短パルスを同時に分離している。この際、非線形光学媒質11bと周期型光波長フィルタ12aとの間に介在されたBRF11cによって、励起光波長の出力レベルをSC光の出力レベルに揃えている。

【0013】前述の構成によれば、3次の非線形光学媒

質11b中では、3次の非線形光学効果である自己位相変調(Self-phase modulation:SPM)、相互位相変調(cross-phase modulation:XPM)、誘導ラマン散乱、4光波混合などが同時に発生し、図3(a)に示すような100nm以上の波長範囲に渡る超広帯域の超短パルスが得られる。この際、各波長においてパルス幅は数ps(10⁻⁶秒)程度に保たれており、その時間分解分光像は図3(b)のようになる。従って、SC発生部11から得られたSC光から波長フィルタ部12により所定の波長成分を切り出すことにより、波長フィルタ部12の透過帯域の逆数程度のパルス幅を有する超短パルスを得ることができる。ここで、例えば波長フィルタ部12に周期型のフィルタを用いることにより、図1のフィルタ出力λ1、λ2に示すように一定波長間隔Δλの複数の波長の超短パルスを同時に得ることが可能となる。

【0014】次に、本発明の第2の実施例を説明する。図4は第2の実施例を示す構成図である。図において、前述した第1の実施例と同一構成部分は同一符号を持って表しその説明を省略する。また、第1の実施例と第2の実施例との相違点は、SC光発生用の3次の非線形光学媒質として偏波保持型の光ファイバ11dを用い、また周期型波長フィルタとしてファイバ型複屈折干渉フィルタ13aを用いたことにある。

【0015】ここでまず、図5に基づいて、周期型波長フィルタの一種である一般的な複屈折干渉フィルタ13bについて説明する。複屈折干渉フィルタ13bの構成要素は、2つの偏波依存素子、ここでは偏光子131と偏波ビームスプリッタ(以下、PBSと称する)132、及

$$\Delta\lambda = -\lambda^2 \Delta f / c, \quad \Delta f = c / (B(\lambda)L) = 1 / (\tau_p(\lambda)L) \quad \cdots(2)$$

第2の実施例の複屈折干渉フィルタ13aでは、前述した複屈折性媒質133として偏波保持型の複屈折光ファイバ134を用い、分離手段として偏波ビームスプリッタ(PBS)132を用いている。また、第2の実施例においてはSC発生部11からの光パルス出力が直線偏光であるので、図5に示した入力側の偏光子131は省いてある。さらに、ここでは励起用超短パルス光源11aのスペクトル成分を減衰するために、SC発生部11の出口にバンド除去フィルタ(BRF)11cを接続してあるが、BRF11cは一般的には必ずしも必要ではない。

【0020】一方、複屈折干渉フィルタ13aの入口ポートは上記複屈折ファイバ131であり、SC発生部11の出力ポートのファイバ11eとその主軸が互いに45度の角度となるように接続されている。また、複屈折干渉フィルタ13aでは、複屈折光ファイバ131の出力部と偏波ビームスプリッタ(PBS)132の入力部の主軸が45度の角度で接続されている。さらに、第2の実施例では複屈折干渉フィルタ13aの出力部として偏波ビームスプリッタ(PBS)132を用いているので、出力は2ポートであり、得られた2系列の出力スペクトルは互いに相補的である。

びこれらの間に介在された複屈折性媒質133である。ここで、複屈折性媒質133における常光線に対する屈折率は n_e 、異常光線に対する屈折率は n_o であり、入出力側の偏光子131(偏波ビームスプリッタ132)の主軸と複屈折性媒質133の主軸は互いに45度の角度に設定されている。

【0016】前述の構成によれば、入射光(波長 λ_i)の複屈折性媒質出口での直交偏波間の位相差(偏波状態に対応)を δ_i とすれば、この位相差 δ_i が次の(1)で表されるとき、

$$\delta_i = 2\pi B(\lambda)L / \lambda_i = 2\pi n(n:\text{整数}) \quad \cdots(1)$$

出射偏波は入力偏波(本例では縦偏波)と等しくなる。

【0017】また、 $\delta_{i+1} - \delta_i = \pi$ となる別の波長 λ_{i+1} の出射偏波状態は入力偏波に直交した横偏波となり、 λ_i, λ_{i+1} の出射偏波は図5に示すフィルタ出力λ1、λ2のように互いに直交する。ここで、 $B(\lambda)$ はモード複屈折率、 L は媒質長である。

【0018】従って、 λ_i ($\lambda_1, \lambda_3, \lambda_5 \dots$)と λ_{i+1} ($\lambda_2, \lambda_4, \lambda_6 \dots$)の2つの波長グループは互いに分離され、図5に示すような2系統の周期的なフィルタ出力が得られる。尚、2つの波長グループの中心波長 λ_i は、上記(1)式の $B(\lambda)$ または L を適切に調節することで任意に設定できる。また、波長間隔も $B(\lambda)$ 又は L を選択することにより可変にできる。

【0019】さらに、複屈折干渉フィルタの波長周期 $\Delta\lambda$ は、光速を c 、複屈折性媒質133の偏波分散を $\tau_p(\lambda)$ とすると、次の(2)式で表される。

【0021】従って、これによって得られる最大波長チャネル数 N_{\max} は、SC光のスペクトル幅を $\Delta\lambda_{SC}$ 、ファイバ型複屈折干渉フィルタ13aの波長間隔を $\Delta\lambda$ として、両偏波を考慮すると、次の(3)式にて表される。

$$N_{\max} = 2 \times (\Delta\lambda_{SC} / \Delta\lambda) \quad \cdots(3)$$

例えば、 $\Delta\lambda_{SC} = 100\text{nm}$ 、 $\Delta\lambda = 2\text{nm}$ とすると、 $N_{\max} = 100$ チャネルとなる。その場合、単一チャネルのスペクトル幅 $\Delta\lambda_{ch}$ は $\Delta\lambda/2$ となる。尚、チャネル間クロストークを改善するため、複屈折干渉フィルタを多段に構成してもよい。

【0022】次に、本発明の第3の実施例を説明する。図6は本発明の第3の実施例を示す構成図である。第3の実施例ではSC発生用の3次の非線形光学媒質として前述した偏波保持型の光ファイバを用いたSC発生部11を備えると共に、また周期型波長フィルタとしてはMach-Zehnder(M-Z)型干渉フィルタ14を用いている。M-Z型干渉フィルタ14の波長周期 $\Delta\lambda$ は、屈折率を $n(\lambda)$ 、媒質長の差を ΔL 、光速を c とすると、次の(4)式で表される。

$$\Delta\lambda = -\lambda^2 \Delta f / c, \quad \Delta f = c / (n(\lambda)L) \quad \cdots(4)$$

M-Z型干渉フィルタ14は、1×2の1:1光カップ

ラ14a、光路長の異なる2つの光導波路14b、14c、及び2×2の1:1光カップラ14dとから構成されている。ここで、光カップラ14a、14dとしてファイバ型カップラを用いた場合はM-Z型干渉フィルタは一般に偏波依存性を持つが、Si基盤上に光導波型回路を形成するPLC技術(M.Kawachi, "Silica waveguides on silicon and their application to integrated optic components", Optical and Quantum Electronics, 22, pp. 391-416)を用いれば、偏波無依存の構成にすることが可能である。

【0023】第3の実施例においては出力用として2×2の1:1光カップラを用いているので、前述した第1の実施例と同様に出力は2ポートであり、得られた2系列の出力スペクトルは互いに相補的である。また、得られる波長チャネル数Nは、第1の実施例の場合と同様となり、単一チャネルのスペクトル幅も第1の実施例と同様となる。この場合もチャネル間クロストークを改善するため、M-Z型干渉フィルタ14を多段に構成してもよい。

【0024】尚、M-Z型干渉フィルタが偏波に依存する場合は、偏波保持型の非線形光導波路または通常の非線形光導波路と偏光子を用い、偏波を一方向に揃えてM-Z型干渉フィルタに入力すればよい。また、M-Z型干渉フィルタが偏波に依存しない場合は、通常の非線形光導波路を用いればよい。

【0025】次に、本発明の第4の実施例を説明する。図7は本発明の第4の実施例を示す構成図である。第4の実施例では、SC発生用の3次の非線形光学媒質として前述した偏波保持型の光ファイバを用いたSC発生部11を備えると共に、周期型波長フィルタとしてはファブリペロー(FP)型干渉フィルタ15を用いている。FP型干渉フィルタ15の波長周期 $\Delta\lambda$ は、媒質の屈折率を $n(\lambda)$ 、媒質長をL、光速をcとすると、次の(5)式で表される。

$$\Delta\lambda = -\lambda^2 \Delta f / c, \quad \Delta f = c / (2n(\lambda)L) \quad \cdots (5)$$

第4の実施例におけるFP型干渉フィルタ15は、光サーキュレータCIRと4個のファブリペロー(FP)干渉フィルタFP1~FP4から構成され、これらの光サーキュレータCIRとFP干渉フィルタFP1~FP4を用いて、4系統のスペクトル出力を得ている。ここで、それぞれのFP干渉フィルタFP1~FP4は、その共振器を微調して、絶対透過波長が重ならないように設定されている。これにより、単一チャネルのスペクト

ル幅 $\Delta\lambda_{ch}$ は、FP干渉フィルタFP1~FP4のフィネスをFとして、 $\Delta\lambda/F$ となる。

【0026】

【発明の効果】以上説明したように本発明によれば、周期型波長フィルタによって超広帯域超短パルスから複数の波長の超短パルスを同時に分離することができ、単一の励起用パルス光源を用いて安定に超広帯域の波長範囲で多波長の超短パルスを同時に発生させることができる。これにより、従来の多波長超短パルス光源では、利得媒質であるEDFA等の帯域により発振波長が制限され、自由に光パルスの発振波長を選択し、ピコ秒以下の超短パルスを得るのは困難であったが、本発明においては、励起波長の両側に連続的に波長を選択でき、かつ任意のスペクトル幅の光パルスを得ることができると共に、自由に光パルスの発振波長を選択し、且つピコ秒以下の超短パルスを得ることができる。このように、本発明は任意の波長で、任意のパルス幅の光パルスを得ることができる多波長パルス光源を提供するものであり、例えば100Gb/s~1Tb/sの波長多重超パルス伝送や光信号処理において大きく貢献するものである。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施例を示す構成図

【図2】従来の多波長超短パルス光源を示す構成図

【図3】本発明における3次の非線形効果によるスペクトル広がりを示す図

【図4】本発明の第2の実施例を示す構成図

【図5】本発明における複屈折干渉フィルタを説明する図

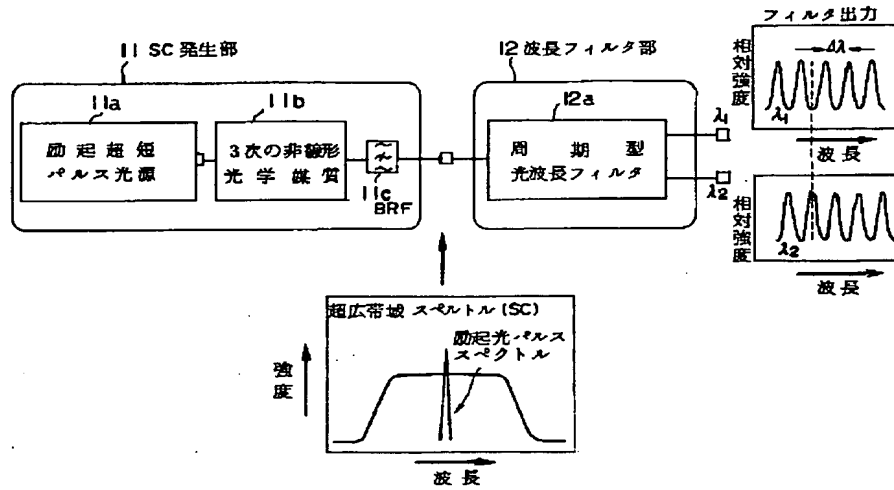
【図6】本発明の第3の実施例を示す構成図

【図7】本発明の第4の実施例を示す構成図

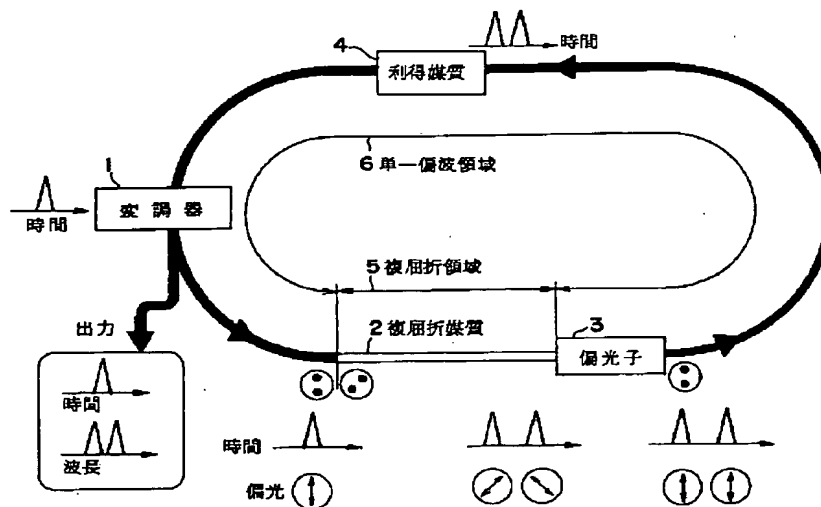
【符号の説明】

11…SC発生部、11a…励起超短パルス光源、11b…3次の非線形光学媒質、11c…バンド除去(減衰)フィルタ(BRF)、11d…偏波保持型光ファイバ、11e…光ファイバ、12…波長フィルタ部、12a…周期型光波長フィルタ、13a…ファイバ型複屈折干渉フィルタ、13b…複屈折干渉フィルタ、131…偏光子、132…偏波ビームスプリッタ(PBS)、133…複屈折性媒質、134…複屈折光ファイバ、14…M-Z型干渉フィルタ、14a、14d…光カップラ、14b、14c…光導波路、15…ファブリペロー(FP)型干渉フィルタ、CIR…光サーキュレータ、FP1~FP4…ファブリペロー(FP)干渉フィルタ。

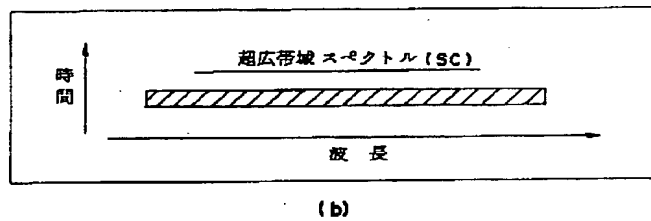
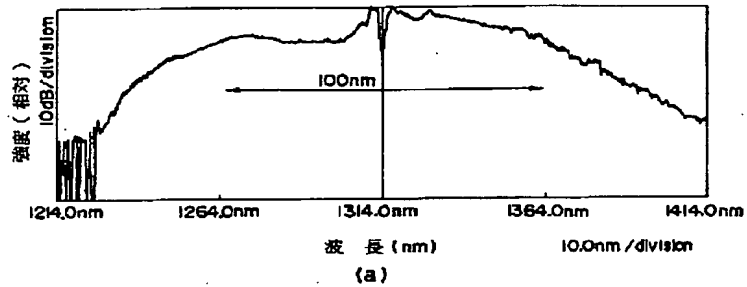
【図1】



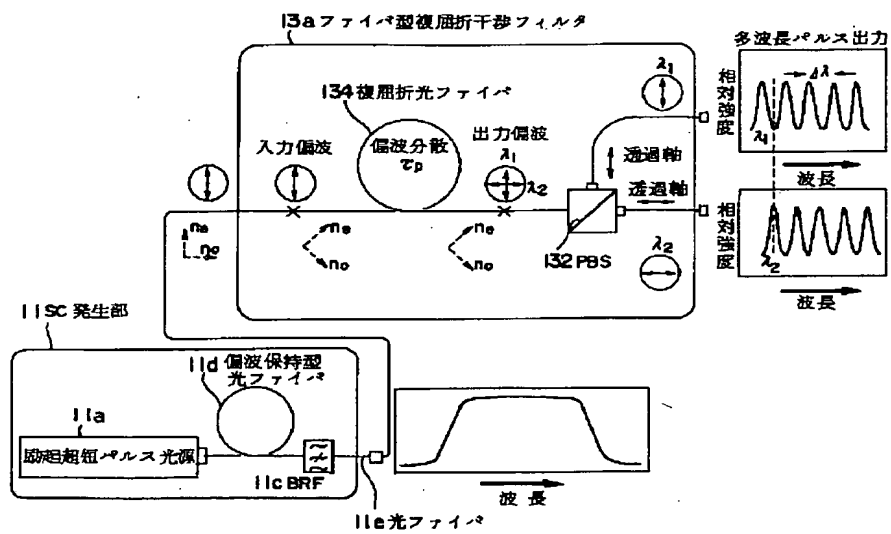
【図2】



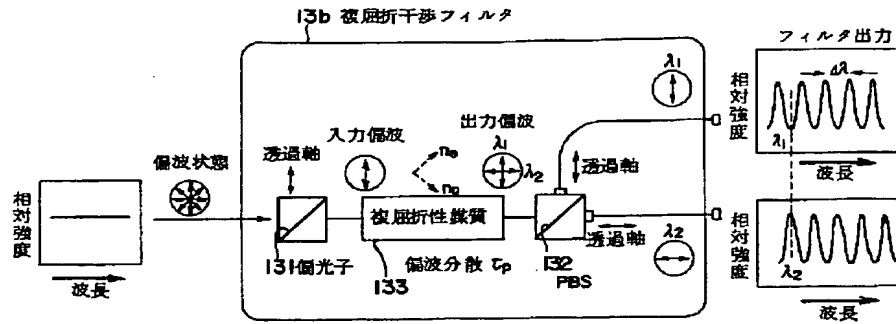
【図3】



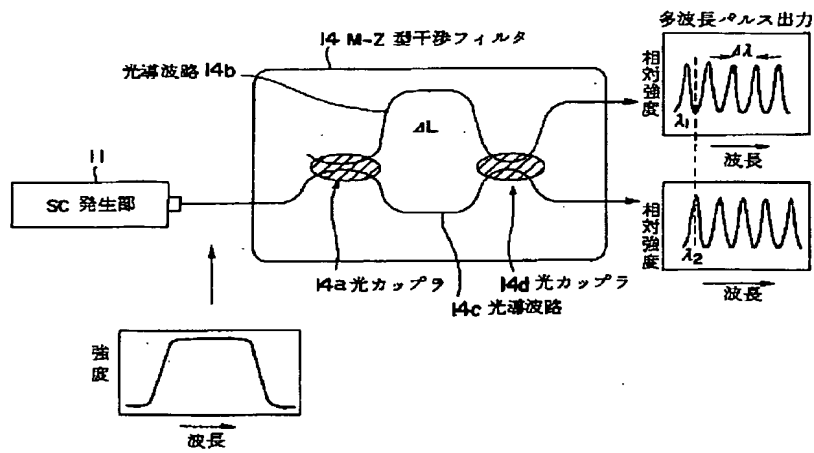
【図4】



【図 5】



【図 6】



【図7】

